

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

以機率密度函數研究洪水歷線及其頻率分析

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-032-006-

執行期間：92 年 08 月 01 日至 93 年 07 月 31 日

執行單位：淡江大學水資源及環境工程系

計畫主持人：蕭政宗

計畫參與人員：黃敬芳、吳建泰、張婉如

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 8 月 2 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ☒ 成果報告
期中進度報告

以機率密度函數研究洪水歷線及其頻率分析

計畫類別：☒ 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 92 - 2211 - E - 032 - 006 -

執行期間：92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

計畫主持人：蕭政宗

共同主持人：

計畫參與人員：黃敬芳、吳建泰、張婉如

成果報告類型：☒ 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：淡江大學水資源及環境工程學系

中 華 民 國 93 年 7 月 31 日

一、計畫中文摘要

台灣地區每年颱風及豪雨所帶來的洪水氾濫及市區淹水，常造成嚴重的生命及財產損失。防洪及排水工程大多利用洪峰或暴雨的特性作為設計的基準，最常見的即為洪水頻率分析，即利用歷史洪峰紀錄推估特定迴歸期的洪峰量作為防洪工程設計標準。但整個洪水歷程極為複雜，需由多個變數包括洪峰、洪水量、洪峰時間及延時方足以代表洪水事件。本計畫的主要目的即為研究洪水歷線的統計特性及其頻率分析，主要的工作可分為二階段，第一階段探討以機率密度函數模擬洪水歷線的可行性，第二階段則進行洪水歷線頻率分析以得到不同迴歸期的洪水歷線。

本計畫利用常用的機率密度函數，包括 gamma、beta、lognormal、Gumbel 及 Weibull 等五種不同的分佈，來模擬洪水歷線，並以洪峰量與洪峰時間來推估機率密度函數的參數，模擬所得洪水歷線則與實測洪水歷線比較，以選擇最符合實測洪水歷線的機率密度函數。其次利用年最大洪峰量進行頻率分析以得到各迴歸期之年最大洪峰量，再由洪峰量與其他變數之間的關係推估相對應迴歸期之洪峰時間、延時與洪水量，利用各頻率之洪峰量、洪峰時間、延時與洪水量以推估該頻率之機率密度函數參數，將所得到各頻率之參數代回機率密度函數，即可得到不同迴歸期的洪水歷線。

本計畫以濁水溪流域桶頭(2)流量站實測洪水歷線進行檢驗，結果顯示 gamma 分佈配合以洪峰量及洪峰時參數推估方式所得之模擬洪水歷線最佳，其次則進行頻率分析可推導得該站不同迴歸期的洪水歷線。

關鍵詞：洪水歷線、機率密度函數、頻率分析。

二、計畫英文摘要

High-intensity and long-duration rainfall induced by typhoons or storms often cause great economic damages and life losses in Taiwan. The characteristics of floods or storms are often used as design criteria for flood control and drainage facilities. It has become standard practices to use frequency analysis in hydraulic engineering design. However, it needs several variables, such as flood peak, flood volume, time to peak, and flood duration, to describe flood hydrographs because of complex characteristics embedded in flood hydrographs. The major purpose of this project is to investigate statistical characteristics of flood hydrographs and their frequency analysis. The first phase of this project is applying the probability density function to model the flood hydrographs. The second phase is the frequency analysis of flood hydrograph to derive the specific return periods of flood hydrographs.

In this project, five common probability density functions, including gamma, beta, lognormal, Gumbel, and Weibull, are used to model the flood hydrographs. The flood peak and time to peak are employed to estimate the parameters of probability density function. The derived and observed flood hydrographs are compared to select the optimal one. Then, the flood peaks for various return periods are derived first. The established relationships between flood peak and other variables are then used to derive the time to peak, duration, and volume for the corresponding return periods. The parameters of probability density function are estimated using the hydrograph variables for various return periods. The specific return periods of flood hydrograph are then determined by substituting estimated parameters into the pre-selected probability density function.

The proposed methodology is demonstrated with an application to the flood records of Tungtuo gauge station in Choshui Creek, Taiwan. The results show that the gamma probability density function associated with flood peak and time to peak parameter-estimation scheme has the best fitting to the observed flood hydrographs. The flood hydrograph for various return periods are then derived.

Key words: Design flood hydrograph, Probability density function, Frequency analysis.

三、報告內容

(一) 前言

台灣地區每年颱風及豪雨所帶來強度大且延時長的降雨，經常帶來洪水氾濫及市區淹水，對生命及財產造成甚大的損失。因此防洪及排水工程大多利用洪峰或暴雨的特性，作為工程設計的標準。最常見的即為洪水頻率分析(frequency analysis)，利用歷史洪峰紀錄推估特定迴歸期(return period)的洪峰量作為防洪工程設計標準。然而，整個洪水歷程極為複雜，至少需洪峰(peak)、洪水量(volume)、洪峰時間(time to peak)及延時(duration)等變數方足以完整的描述洪水歷線(flood hydrograph)。單一變數的頻率分析並無法得到詳細且完整的洪水資訊，特別是評估水庫及河道的蓄洪能力時。因此，洪水歷線的統計特性及其頻率分析對水利工程的規劃與設計而言，便顯得相當重要。

(二) 研究目的

本計畫的主要研究目的即為研究洪水歷線的統計特性及其頻率分析，第一階段探討以機率密度函數模擬洪水歷線的可行性，包括以常用的機率密度函數，如 gamma、beta、lognormal、Gumbel 及 Weibull 等分佈，來模擬洪水歷線，並與實測洪水歷線比較以選擇最佳的機率密度函數。第二階段則進行洪水歷線頻率分析，先以年最大洪峰量進行頻率分析以得到各迴歸期之年最大洪峰量，再由洪峰量與其他變數之間的關係推估相對應迴歸期之洪峰時間、延時與洪水量，利用各頻率之洪峰量、洪峰時間、延時與洪水量以推估該頻率之機率密度函數參數，將所得各頻率之參數代回機率密度函數，即可得到不同迴歸期的洪水歷線。

(三) 文獻探討

Goel 等(1998)及 Yue 等(1999)指出由於洪水歷程的複雜性，要完整的描述洪水事件需要洪峰、洪水量、洪峰時間、及延時等變數。Yue 等(2002)於研究洪水歷線統計特性時曾指出統計法(statistical method)是目前最缺乏有系統研究用於建構設計洪水歷線的方法，有關以統計方法，即以機率密度函數來研究洪水歷線的文獻並不多見，Aron 及 White(1982)曾應用 gamma 分佈機率密度函數來模擬合成的單位歷線；Ciepielowski(1987)曾應用 Pearson 分佈機率密度函數來研究波蘭 Vistula 流域洪水歷線，並將之應用於推估無測站河川之洪水；Haktanir 及 Sezen(1990)應用二參數 gamma 及三參數 beta 分佈於模擬土耳其 Anatolia 地區的單位歷線；Yue 等(2002)以形狀變數推估 beta 分佈機率密度函數之參數，並將之應用於模擬加拿大 Ashuapmushuan 流域之洪水歷線；Bhunya 等(2003)利用簡化的二參數 gamma 分佈來推導合成單位歷線。

有關頻率分析方面的研究有 Javelle 等(2002)分析最大平均流量、延時與頻率間之關係；Bacchi 等(1992)分析洪峰量和洪水體積之關係；Cunnane(1988)以 12 種不同方式探討地區性的洪水頻率分析；Mckerchar 及 Pearson(1990)以具有長期紀錄的流量站資料點繪出洪水頻率的分佈，再利用流域降雨強度、平均洪水量、流域面積和流域特性等配合極端值第一型分佈將之應用於紐西蘭；Mkhandi 等(2000)在最大洪水資料的頻率分析中利用 Pearson type 3、三參數 lognormal、General Extreme Value、log-Pearson type 3 等分佈推估其發生頻率，及推估不同頻率年之洪峰量的大小；Hosking 及 Wallis(1993)針對量測地點分析其協調性、變異性和適合度，以 L-moment 方式建立一個地區性的頻率分析推估步驟；Sveinsson 等(2002)以三參數 lognormal、Pearson type 3 等分佈利用指數洪水法(index flood method)為基礎分析短延時的地區性頻率分析，並建立地區性頻率曲線。上述研究均未考慮到洪水歷線之變化，

因此，利用這些方法並無法得到不同迴歸期之洪水歷線。

(四) 研究方法

I. 以機率密度函數模擬洪水歷線

描述單峰洪水歷線的主要變數有洪峰量 Q_p 、洪水量 V 、洪峰時間 T_p 及延時 D ，如圖 1 所示。

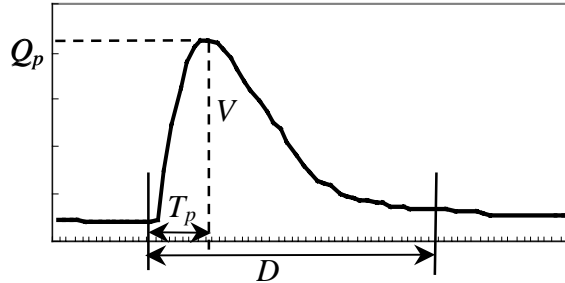


圖 1. 洪水歷線與相關變數示意圖

除此四變數外，洪水歷線尚需紀錄連續時刻的洪水變化情形，通常以間斷的一個時刻一個時刻，即離散式的記載洪水歷線。本文將以連續性的形式來記載洪水歷線，所採用的方法為利用機率密度函數來代表洪水歷線，許多機率密度函數的形狀也為單峰，因此可用來代表洪水歷線，惟機率密度函數曲線下之面積為 1，因此實際的洪水歷線需作若干的修正才能以機率密度函數來代表。過程說明如下並示於圖 2，選取單峰之實測洪水事件，擷取合適延時之小時洪水歷線紀錄如圖 2(a)所示，計算洪水量 V ，並紀錄洪峰時間 T_p 與延時 D ，將洪水歷線之縱軸除以洪水量 V ，即得曲線下之面積為 1 之修正洪水歷線，如圖 2(b)所示，其形狀類似於機率密度函數如圖 2(c)所示。若欲以機率密度函數來模擬圖 2(a)之洪水歷線，先由圖 2(b)之修正洪水歷線推求機率密度函數的參數後，將參數代回可得到圖 2(c)之機率密度函數，最後再乘上洪水量 V 即可得到模擬洪水歷線如圖 2(d)所示。

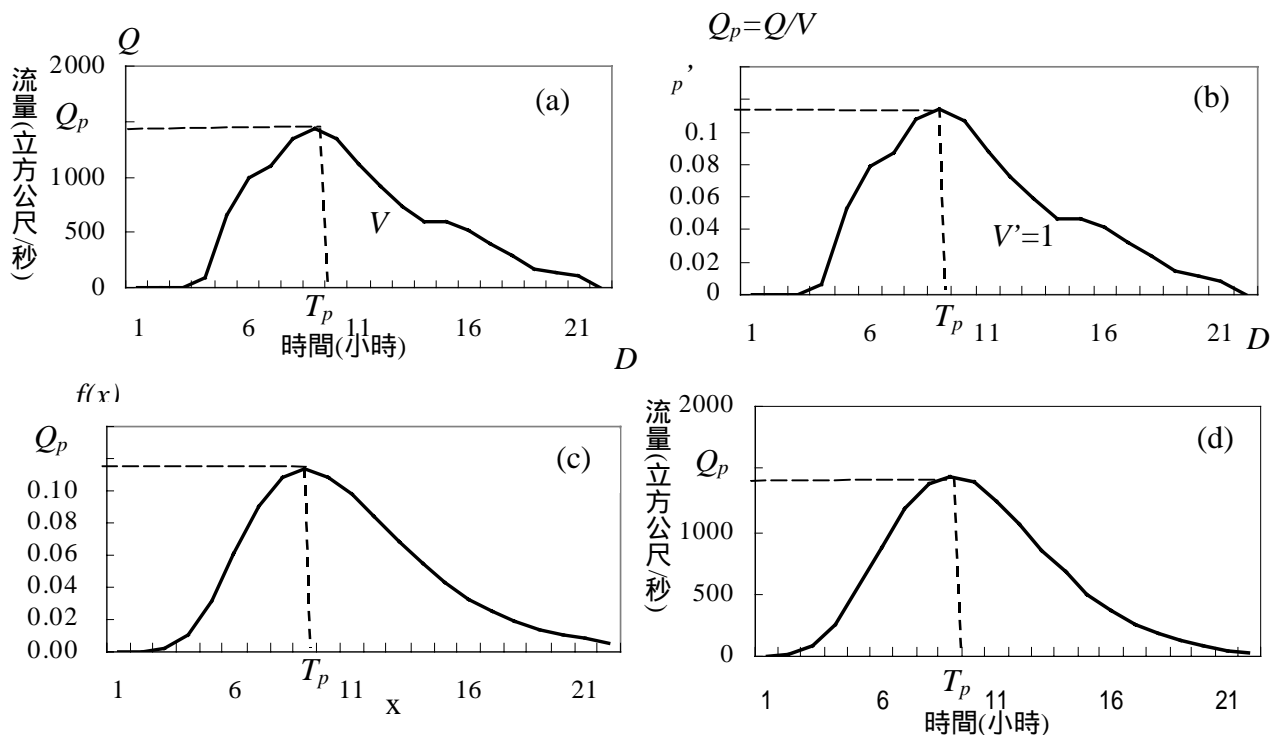


圖 2. (a)實測洪水歷線；(b)面積為 1 之修正洪水歷線；(c)機率密度函數；(d)模擬洪水歷線

II. 機率密度函數

本計畫選擇常用的機率密度函數，包括 gamma、beta、lognormal、Gumbel 及 Weibull 等五種，來模擬洪水歷線並檢驗其適用性。上述五種機率密度函數之函數形式 平均值($E(X)$) 及變異數($\text{Var}(X)$)分述如下(Castillo, 1988 ; Shahin 等, 1993)：

1. gamma 分佈：

$$f(x) = \frac{\lambda^\eta}{\Gamma(\eta)} x^{\eta-1} e^{-\lambda x} \quad x \geq 0 \quad (1)$$

其中 λ 及 η 為參數； Γ 為 gamma 函數。

gamma 分佈之平均值及變異數分別為：

$$E(X) = \frac{\eta}{\lambda}, \quad \text{Var}(X) = \frac{\eta}{\lambda^2} \quad (2)$$

2. beta 分佈：

$$f(x) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} \quad 0 \leq x \leq 1 \quad (3)$$

其中 α 及 β 為參數； B 為 beta 函數。

beta 分佈之平均值及變異數分別為：

$$E(X) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}, \quad \text{Var}(X) = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2 (\alpha + \beta + 1)} \quad (4)$$

3. lognormal 分佈

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_{\ln(x)}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x) - \mu_{\ln(x)}}{\sigma_{\ln(x)}}\right)^2} \quad x > 0 \quad (5)$$

其中 $\mu_{\ln(x)}$ 及 $\sigma_{\ln(x)}$ 為參數。

lognormal 分佈之平均值及變異數分別為：

$$E(X) = e^{\mu_{\ln(x)} + \frac{\sigma_{\ln(x)}^2}{2}}, \quad \text{Var}(X) = e^{2\mu_{\ln(x)} + \sigma_{\ln(x)}^2} (e^{\sigma_{\ln(x)}^2} - 1) \quad (6)$$

4. Gumbel 分佈

$$f(x) = \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x-\alpha}{\beta}} e^{-\frac{x-\alpha}{\beta}} \quad -\infty < x < \infty \quad (7)$$

其中 α 及 β 為參數。

Gumbel 分佈之平均值及變異數分別為：

$$E(X) = \alpha + 0.5772\beta, \quad \text{Var}(X) = \left(\frac{\beta\pi}{\sqrt{6}}\right)^2 \quad (8)$$

5. Weibull 分佈

$$f(x) = \frac{\gamma}{x} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^\gamma e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\gamma} \quad x \geq 0; \gamma, \alpha > 0 \quad (9)$$

其中 α 及 γ 為參數。

Weibull 分佈之平均值及變異數分別為：

$$E(X) = \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right), \quad \text{Var}(X) = \alpha^2 \Gamma\left(1 + \frac{2}{\gamma}\right) - \left[\alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right)\right]^2 \quad (10)$$

III. 參數推估

因洪峰時間 T_p 可視為單峰機率密度函數之眾數(mode) (詳圖 2(d))，而單峰機率密度函數的眾數可由機率密度函數一次微分求得，而將所求出之眾數代回機率密度函數所得即可得到修正洪水歷線之洪峰量 $Q_p' (=Q_p/V)$ 。前述機率密度函數之參數推估之方式分述如下。

1. gamma 分佈

$$T_p = \frac{1}{\lambda}(\eta - 1) \quad (11)$$

$$Q_p' = \lambda \frac{(\eta - 1)^{\eta-1}}{\Gamma(\eta)} e^{-(\eta-1)} \quad (12)$$

2. beta 分佈

$$T_p = \frac{\alpha - 1}{\alpha + \beta - 2} \quad (13)$$

$$Q_p' = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \left(\frac{\alpha - 1}{\alpha + \beta - 2}\right)^{\alpha-1} \left(\beta \frac{\beta - 1}{\alpha + \beta - 2}\right)^{\beta-1} \quad (14)$$

3. lognormal 分佈

$$T_p = e^{(\mu_{\ln(X)} - \sigma_{\ln(X)}^2)} \quad (15)$$

$$Q_p' = \frac{1}{\sigma_{\ln(X)} \sqrt{2\pi}} e^{\{-\mu_{\ln(X)} + \frac{\sigma_{\ln(X)}^2}{2}\}} \quad (16)$$

4. Gumbel 分佈

$$T_p = \alpha \quad (17)$$

$$Q_p' = \frac{1}{\beta} e^{-1} \quad (18)$$

5. Weibull 分佈

$$T_p = \alpha \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (19)$$

$$Q_p' = \frac{\gamma}{\alpha} \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} e^{-\left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right)} \quad (20)$$

上述方式除 Gumbel 分佈外，其餘均無法將機率密度函數的參數直接表為 Q_p' 及 T_p 的函數，因此在已知 Q_p' 及 T_p 的條件下，需利用試誤法來推估參數。

IV. 最大洪峰頻率分析

選取紀錄期限內之年最大洪峰量進行頻率分析，即可得到不同迴歸期之洪峰量，此即傳統的洪水頻率分析。不同迴歸期 T 與相對應之洪峰量 Q_p' 及 T_p 關係如下：

$$T = \frac{1}{P(Q_p \geq Q_{p,T})} = \frac{1}{1 - P(Q_p \leq Q_{p,T})} = \frac{1}{1 - F(Q_{p,T})} \quad (21)$$

其中 F 為年洪峰量的累積分佈函數(cumulative distribution function)，至於該以何種分佈來代表則有賴實測洪峰資料來檢定。

V. 洪水歷線頻率分析

洪水歷線的定義需要洪峰量、洪水量、洪峰時間及延時等變數，而前述年最大洪峰頻率分析方僅能得到不同迴歸期的洪峰量，無法得到不同迴歸期的洪水量、洪峰時間及延時，且利用多變數來定義迴歸期目前尚無無一致性的方法。為簡化分析過程及讓不同頻率洪水歷線的洪峰量與傳統的洪水頻率分析一致，本文將建立洪峰量與洪峰時間、洪水量及延時之間的關係式，而後以洪峰量進行頻率分析所求得之各發生頻率之洪峰量，代入關係式中即可得到相對應發生頻率之洪水量、洪峰時間及延時。假設由實測洪水資料可得洪峰量與洪峰時間、洪水量及延時之間的迴歸式如下式所示：

$$T_{p,T} = f(Q_{p,T}) \quad (22)$$

$$V_T = f(Q_{p,T}) \quad (23)$$

$$D_T = f(Q_{p,T}) \quad (24)$$

利用(21)式所得到各頻率之洪峰量代入迴歸式(22)、(23)、(24)式內，以得到相對應迴歸期之洪水歷線變數。之後，再利用各頻率的洪峰量除以洪水體積，即 Q_{pT}' ，及洪峰時間 T_{pT} 代回(11)至(20)式內以求取代表各頻率洪水歷線的機率密度函數參數，而後將所得到各頻率的參數代回機率密度函數，並乘上相對應發生頻率之洪水體積 V_T ，而延時即由 D_T 決定，即可得到不同迴歸期的洪水歷線，而其洪峰量也與一般的洪水頻率分析相同。

(五) 結果與討論

I. 研究區域

本計畫以濁水溪流域桶頭(2)流量站(測站編號 1510H024)為例，說明本計畫建議方法之實用性，並推求桶頭(2)流量站不同迴歸期之洪水歷線。首先選擇逐時流量紀錄中具有明顯單峰的洪水歷線作為機率密度函數選擇的依據，所選擇的颱風洪水歷線計有 1962 年之愛美、1978 年之黛拉、1980 年之亞力士、1996 年之賀伯及 1997 年之安珀，共五場。頻率分析則自 1959 年至 2000 年桶頭(2)流量站逐時流量紀錄中選取共 39 年的年最大洪峰洪水歷線作為分析不同發生頻率洪水歷線的依據。

II. 機率密度函數的選擇

圖 3 所示為安珀颱風以不同機率密度函數所得模擬洪水歷線與實測洪水歷線之比較，由圖可知不同機率密度函數所得模擬洪水歷線間之差異不大，其他場的結果亦類似，因此不一一繪出。為求客觀的比較，本計畫以模擬洪水歷線與實測洪水歷線間之相關係數(Coefficient of Correlation)、均方根誤差(Root Mean Square Error)、洪水量及洪峰量誤差百分比等指標作為選擇機率密度函數的依據。經比較結果，以 gamma 分佈較優於其他分佈，因此，本計畫以 gamma 分佈機率密度函數來代表桶頭(2)流量站的單峰洪水歷線。

III. 年最大洪峰之機率分佈與頻率分析

Gumbel 分佈經常用來代表年最大水文量(Castillo, 1988)，因此本文將利用 Gumbel 分佈來代表年最大洪峰量。Gumbel 分佈的累積分佈函數如下所示(Shahin 等, 1993)：

$$F(Q_p) = \exp(-\exp(-\frac{Q_p - \alpha}{\beta})) \quad (25)$$

其中 Q_p 為洪峰量； α 及 β 為參數，以動差法(method of moments)推估如下所示：

$$\alpha = \overline{Q_p} - 0.5772\beta, \quad \beta = \frac{\sqrt{6}}{\pi}s \quad (26)$$

其中 $\overline{Q_p}$ 及 s 為所選取洪峰樣本的平均值及標準偏差。

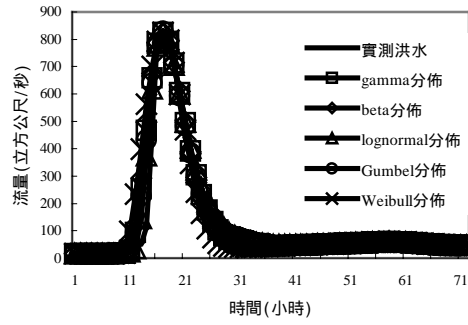


圖 3. 安珀颱風以不同機率密度函數推估之模擬洪水歷線與實測洪水歷線之比較

桶頭(2)流量站所選取 39 年洪峰量的平均值為 1892.8cms,標準差為 1174.7cms,利用(26)式所推求之參數 $\alpha=1364.1$ 、 $\beta=915.9$,年最大洪峰量之 Gumbel 分佈如下式所示：

$$F(Q_p) = \exp(-\exp(-\frac{Q_p - 1364.1}{915.9})) \quad (27)$$

Gumbel 分佈與實測洪峰資料之比較如圖 4 所示，實測洪峰與理論分佈甚為接近。

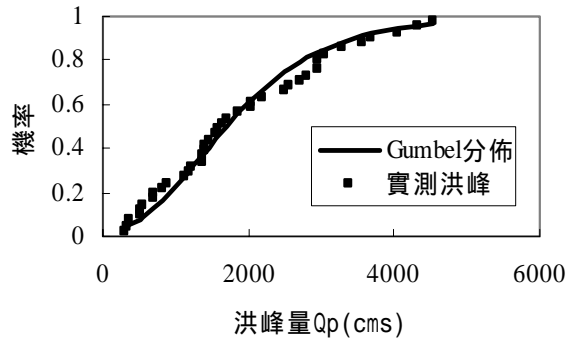


圖 4. 桶頭(2)流量站實測洪峰與 Gumbel 分佈比較圖

桶頭(2)流量站不同迴歸期的年最大洪峰量可表為：

$$Q_{p,T} = 1364.1 - 915.9 \left\{ \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} \quad (28)$$

迴歸期為 2、5、10、25、50、100、200 年之不同迴歸期洪峰量列於表 1。

IV. 洪水歷線頻率分析

桶頭(2)流量站所選取 39 年的年最大洪峰量與相對應洪水量之關係，如圖 5 所示，二者約略成正比關係，假設以線性來代表二者之相關性，其相關係數為 0.82，迴歸式如下：

$$V = 7.959Q_p + 4414.7 \quad (29)$$

桶頭(2)流量站之洪峰量與洪峰時間及延時的關係並不明顯，但洪峰時間及延時與洪峰量對洪水體積的比值 Q_p' (即 $Q_p' = Q_p/V$)，約略成反比關係，即洪峰量對洪水量比值愈大，洪峰時間與延時愈短，桶頭(2)流量站洪峰量對洪水量比值與洪峰時間及延時之關係分別如圖 6 及圖 7 所示，可分別表為：

$$T_p = 1.4786Q_p'^{-0.7501} \quad (30)$$

$$D = 5.7409Q_p'^{-0.5984} \quad (31)$$

上二式之相關係數分別為 0.70 及 0.82。

表 1 不同迴歸期洪水歷線之參數值

迴歸期 T (年)	洪峰量 Q_p (cms)	洪水量 V (cms.hr)	洪峰時間 T_p (hrs)	延時 D (hrs)	參數
2	1700	17945	8.7	23.5	$\lambda=0.507$ $\eta=5.393$
5	2738	26208	8.0	22.2	$\lambda=0.572$ $\eta=5.605$
10	3425	31679	7.8	21.7	$\lambda=0.597$ $\eta=5.683$
25	4294	38591	7.7	21.4	$\lambda=0.618$ $\eta=5.748$
50	4938	43719	7.6	21.2	$\lambda=0.630$ $\eta=5.783$
100	5578	48809	7.5	21.0	$\lambda=0.639$ $\eta=5.809$
200	6215	53880	7.5	20.9	$\lambda=0.646$ $\eta=5.831$

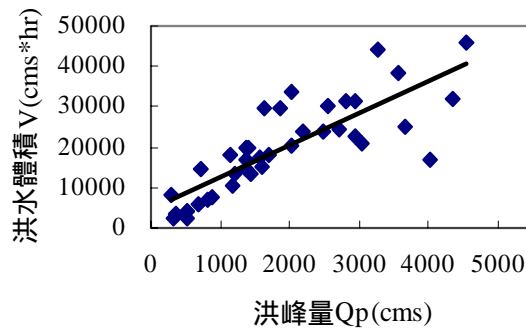


圖 5. 洪峰量與洪水量之關係圖

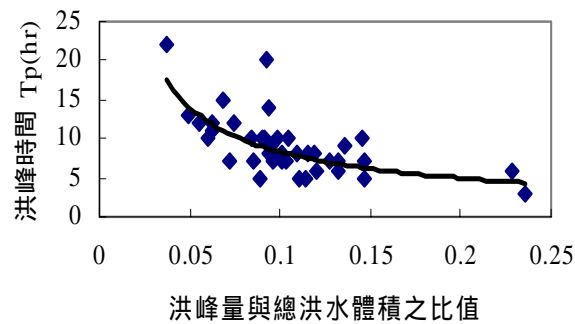


圖 6. 洪峰量/洪水總體積和洪峰時間之關係圖

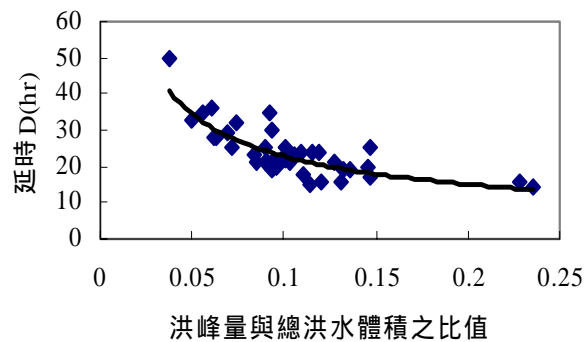


圖 7. 洪峰量/洪水總體積和延時之關係圖

將表 1 所列不同迴歸期洪峰量代入(29)式可求得相對應迴歸期之洪水量,另將洪峰量與洪水量的比值 Q_p' 分別代入(30)及(31)式可求得相對應迴歸期之洪峰時間 T_p 與延時 D , 其數值亦分別列於表 1。將表 1 所列各迴歸期之洪峰量、洪水量、洪峰時間代入(11)及(12)式可求得代表不同迴歸期洪水歷線 gamma 機率密度函數之參數 λ 及 η , 其數值亦列於表 1。將參數值代回(1)式並乘上洪水體積 V 即可得到桶頭(2)流量站不同迴歸期之洪水歷線,如圖 8 所示,各不同迴歸期洪水歷線之延時則列於表 1。

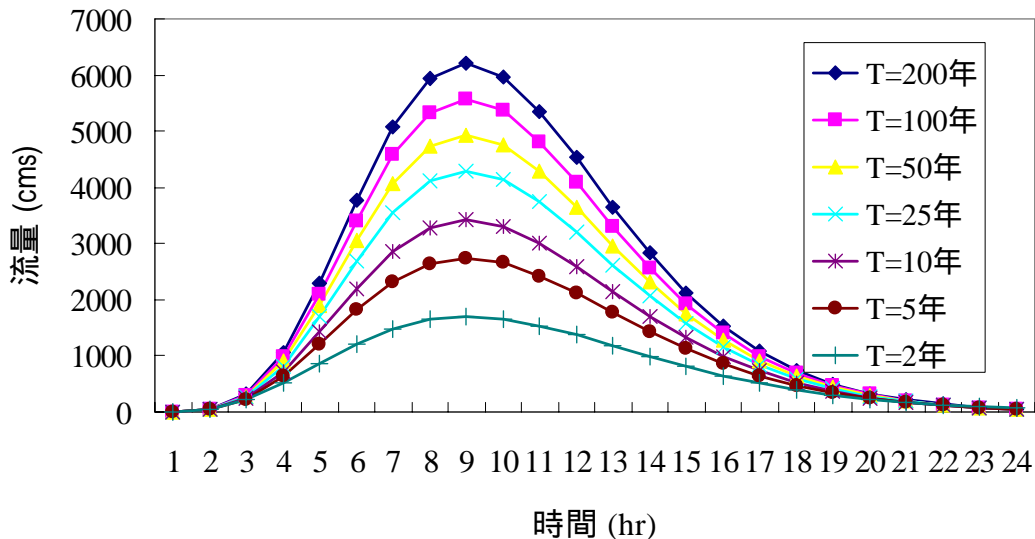


圖 8. 不同迴歸期之洪水歷線

(六) 結論與建議

- 1.具明顯單峰之洪水歷線可以利用機率密度函數來模擬。
- 2.以濁水溪流域桶頭(2)流量站為例,經由五種機率密度函數(gamma, beta, lognormal, Gumbel, Weibull)測試五場颱風模擬洪水歷線,發現機率密度函數的種類對洪水歷線形狀的影響不大,其中以 gamma 分佈之機率密度函數較其他分佈為佳。
- 3.對於洪水歷線頻率分析,先以年最大洪水事件之洪峰量進行頻率分析,並建立洪峰量與洪水量、洪峰時間與延時之關係,再利用各迴歸期之洪水歷線變數推估機率密度函數之參數,將所得之參數代回函數內即可得到不同迴歸期之洪水歷線。
- 4.桶頭(2)流量站之年最大洪峰量可以 Gumbel 分佈來代表,洪峰量與洪水量可以線性關係來代表,洪峰時間及延時則與洪峰量對洪水量的比值成反比。
- 5.本計畫所建立之不同發生頻率之年最大洪峰洪水歷線,不僅其洪峰量與傳統洪水頻率分析之洪峰量相同,且利用紀錄洪水歷線即可推得,無須其他資料,計算過程簡單。本計畫利用機率密度函數來模擬洪水歷線,將原本間斷的洪水紀錄方式改為連續的紀錄方式,對於不同迴歸期之洪水歷線僅紀錄機率密度函數之參數及洪水體積即可,紀錄洪水歷線方式甚為簡便。

四、參考文獻

- Aron, G., and White, E., 1982, Fitting a gamma distribution over a synthetic unit hydrograph, Water Resources Bulletin, 18(1), 95-98.
- Bacchi, B., Brath, A., and Kottegoda, N. T., 1992, Analysis of the relationships between flood

- peaks and flood volumes based on crossing properties of river flow processes, *Water Resources Research*, 28(10), 2772-2782.
- Bhunya, P. K., Mishra, S. K., and Berndtsson, R., 2003, Simplified two-parameter gamma distribution for derivation of synthetic unit hydrograph, *Journal of Hydrologic Engineering*, 8(4), 226-230.
- Castillo, E. 1988, *Extreme Value Theory in Engineering*, Academic Press. Inc., San Diego.
- Ciepielowski, A., 1987, Statistical methods of determining typical winter and summer hydrographs for ungauged watersheds, in *Flood Hydrology*, V. P. Singh (ed.), 117-124.
- Cunnane, C., 1988, Methods and merits of regional flood frequency analysis, *Journal of Hydrology*, 100(1-3), 269-290
- Goel, N. K., Seth, S. M., and Chandra, S., 1998, Multivariate modeling of flood flow, *Journal of Hydraulic Engineering*, 124(2), 146-155.
- Haktanir, T., and Sezen, N., 1990, Suitability of two-parameter gamma and three-parameter beta distributions as synthetic unit hydrographs in Anatolia, *Journal of Hydrological Sciences*, 35(2), 167-184.
- Hosking, J. R. M., and Wallis, J. R., 1993, Some statistics useful in regional frequency analysis, *Water Resources Research*, 29(2), 271-281
- Javelle, P., Ouarda, T. B. M. J., Lang, M., Bobee, B., Galea, G., and Gresillon, J. M., 2002, Development of regional flood-duration-frequency curves based on the index flood method, *Journal of Hydrology*, 258, 249-259.
- Mckerchar, A. I., and Pearson, C. P., 1990, Maps of flood statistics for regional flood frequency analysis in New Zealand, *Hydrological Sciences Journal*, 35(6), 609-621
- Mkhandi, S. H., Kachroo, R. K., and Gunasekara, T. A. G., 2000, Flood frequency analysis of southern Africa: Identification of regional distributions, *Hydrological Sciences Journal*, 45(3), 449-466
- Shahin, M., Van Oorschot, H. J. L., De Lange, S. J., 1993, *Statistical Analysis in Water Resources Engineering*, A. A. Balkema, Rotterdam.
- Sveinsson, O. G. B., Salas, J.D., and Boes, D.C, 2002, Regional frequency analysis extreme precipitation in Northeastern Colorado and Fort Collins Flood of 1997, *Journal of Hydrologic Engineering*, 7(1), 49-63.
- Yue, S., Ouarda, T. B. M. J., Bobee, B., Legendre, P., and Bruneau, P., 1999, The Gumbel mixed model for flood frequency analysis, *Journal of Hydrology*, 226, 88-100.
- Yue, S., Ouarda, T. B. M. J., Bobee, B., Legendre P., and Bruneau P., 2002, Approach for describing statistical properties of flood hydrograph, *Journal of Hydrologic Engineering*, 7(2), 147-153.

五、計畫成果自評

本計畫是國內首次利用機率密度函數來模擬洪水歷線，並將原本離散式的紀錄方式改為連續式的紀錄方式，且建議洪水歷線頻率分析的方式僅由實測的洪水歷線紀錄即可推導，對於不同迴歸期設計洪水歷線的建立更為方便。研究所得成果不僅達到預期目標，並於研究期間發表二篇論文，研究成果豐碩。